

PENGEMBANGAN KOMPONEN NEAR NET SHAPE BERBIAYA RENDAH DENGAN PROSES METAL INJECTION MOLDING

DEVELOPMENT OF LOW COST NEAR NET SHAPE PARTS BY METAL INJECTION MOLDING PROCESS

Shinta Virdhian dan Pujiyanto

Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian

Jalan Sangkuriang No. 12, Bandung – Indonesia

e-mail: shinta_va@yahoo.com

diajukan: 26/02/2014, direvisi: 25/03/2014, disetujui: 14/04/2014

ABSTRACT

Metal injection molding (MIM) is a combination of powder metallurgy process and plastic injection molding. Metal injection molding process is applied to the manufacture of products which require good properties (high performance), form complex and large production quantities. Characteristics of the PIM process is near net shapes which have dimensions approaching the final dimension (does not require further machining process), the efficient use of materials (nothing is wasted in the process of machining/casting), can be applied to types of advanced materials (titanium, nickel, tungsten) are difficult to be processed with other technologies such as casting and machining. This process is expected to replace the process of investment casting or machining expensive for complex shaped products with mass production scale. This paper discusses the PIM processing general, aspects of the design and development of case studies aerospace components with the PIM process. From the results, the condition of the smallest distortion was obtained by using a binder system which has a composition of Atactic Polypropylene 10%, 10% Ethyl Vinyl Acetate, and Paraffin Wax 69%.

Keywords: metal injection molding, distortion, titanium powder

ABSTRAK

Metal injection molding (MIM) merupakan gabungan dari proses metalurgi serbuk dan plastik injection molding. Proses metal injection molding diaplikasikan untuk pembuatan produk-produk yang memerlukan sifat yang baik (performa tinggi), bentuk yang kompleks dan jumlah produksi yang besar. Karakteristik dari proses MIM adalah near net shape dimana memiliki dimensi yang mendekati dimensi akhir (tidak memerlukan proses pemesinan lanjut), penggunaan material yang efisien (tidak ada yang terbuang dalam proses pemesinan/ pengecoran), dapat diaplikasikan pada jenis material maju (titanium, nikel, tungsten) yang sulit diproses dengan teknologi yang lain seperti pengecoran dan pemesinan. Proses ini diharapkan dapat menggantikan proses investment casting atau pemesinan yang mahal untuk produk berbentuk rumit dengan skala produksi masal. Tulisan ini membahas proses MIM secara umum, pemilihan aspek desain, contoh penerapan dan studi kasus pengembangan komponen aerospace dengan proses MIM. Dari hasil penelitian diperoleh kondisi distorsi yang paling kecil dengan menggunakan sistem binder yang memiliki komposisi yaitu Atactic Polypropylene 10%, Ethyl Vinyl Acetate 10%, dan Paraffin Wax 69%.

Kata kunci: metal injeksi molding, distorsi, serbuk titanium

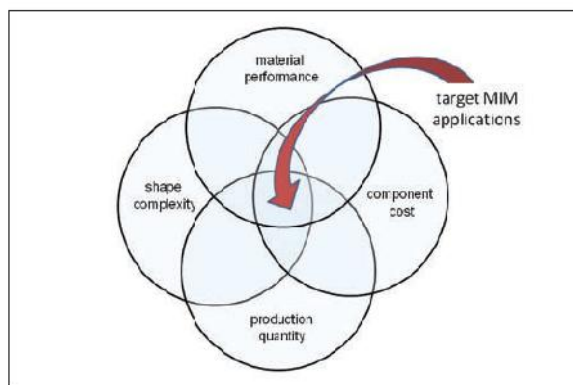
PENDAHULUAN

Injection Molding adalah proses pembentukan material thermoplastic yang dilelehkan dan diinjeksi oleh plunger ke dalam sebuah cetakan logam. Proses injection molding merupakan proses yang berbiaya rendah skala produksi masal, dan banyak digunakan pada pembentukan material berbahan plastic. Dalam kehidupan sehari-hari hampir di semua tempat terdapat

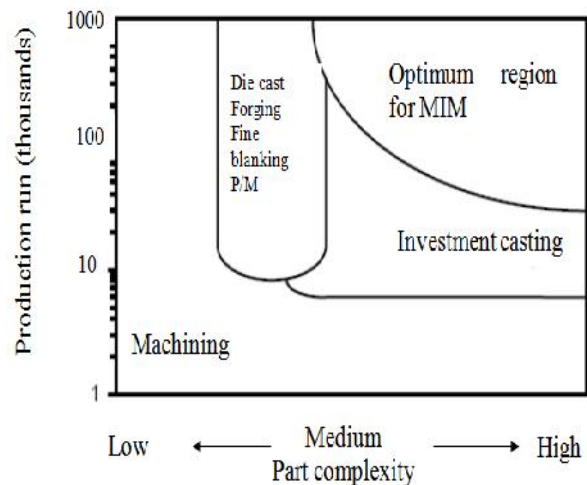
barang-barang yang diproduksi dengan proses *injection molding* seperti pesawat telepon, printer, keyboard, mouse, rumah lampu mobil, dashboard, roda furnitur, telepon seluler, dan masih banyak lagi yang lain.

Metal Injection Molding (MIM) adalah pengembangan dari proses plastik injection molding. *Metal Injection Molding (MIM)* merupakan proses manufaktur dari komponen presisi yang memiliki bentuk

yang kompleks/rumit dengan biaya rendah dan pengerjaan akhir (finishing) yang minimal. Proses ini dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material termasuk material yang baik itu logam maupun keramik seperti superalloy, baja tahan karat, titanium, karbida, zirconia dan lain-lain. Pembuatan komponen menggunakan proses MIM dapat mengurangi secara signifikan biaya manufaktur, peningkatan fleksibilitas desain dan material, memiliki sifat mekanis yang tinggi, permukaan akhir yang baik dan jumlah produksi yang tinggi. Produk yang dibuat dengan proses PIM memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan produk *die casting* serta memiliki toleransi dan permukaan akhir yang lebih baik bila dibandingkan proses *investment casting* atau *sand casting*. Gambar 1 mengilustrasikan target aplikasi dari proses MIM yang merupakan gabungan dari biaya produksi rendah, bentuk produk yang rumit, jumlah produksi yang tinggi, sifat material yang baik. Gambar 2 menunjukkan perbandingan MIM dengan proses manufaktur lainnya dari segi biaya dan jumlah produksi. Tabel 1 menunjukkan perbandingan antara proses MIM dengan proses manufaktur near net shape lainnya.

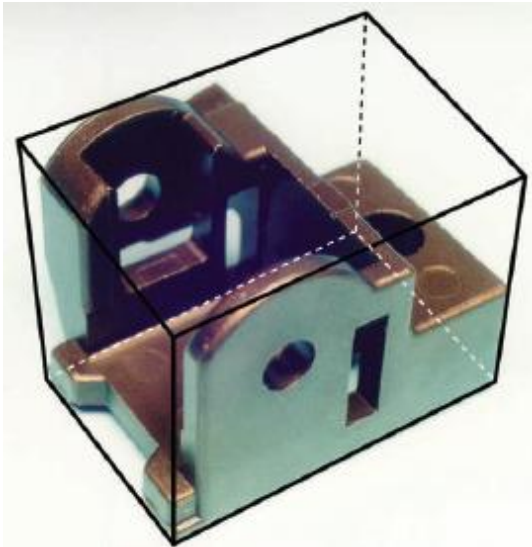


Gambar 1. Diagram Venn yang menunjukkan target aplikasi dari proses MIM.



Gambar 2. Daerah optimum aplikasi proses MIM yaitu komponen dengan bentuk yang kompleks dan diproduksi massal.

Keuntungan lain dari proses MIM adalah dimensi dan bentuk produk yang dihasilkan mendekati produk akhir (*near net shape*), sehingga proses lanjutan (pemesinan) dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya produksi. Selain itu material yang digunakan lebih efisien dari proses yang lainnya, karena jumlah material serbuk yang digunakan sama dengan produk yang diinginkan, tidak seperti proses pemesinan yang membuang banyak material ataupun proses pengecoran yang memerlukan material untuk sistem saluran dan memerlukan pemesinan lanjut seperti diilustrasikan pada Gambar 3. Kekurangan dari MIM proses adalah ukuran produknya yang terbatas, lebih ke arah produk berdimensi relatif kecil (<50 mm) dibandingkan proses lainnya, dikarenakan untuk produk yang berukuran besar, binder yang dibutuhkan lebih banyak sehingga proses penghilangan binder cukup lama sehingga meningkatkan biaya produksi.



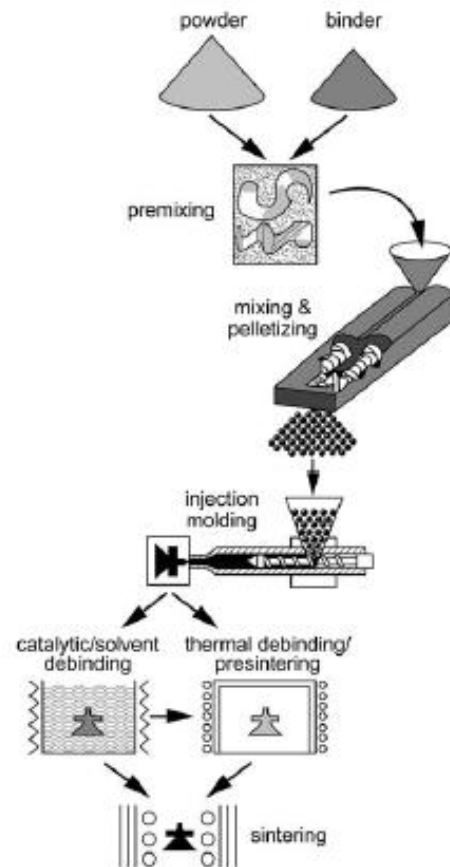
Gambar 3. Produk bentuk balok

Pada Gambar 3, produk ini memiliki berat 27 gram, apabila diproses dengan pemesian akan memerlukan material baja dengan 15 cm³ dengan berat 118 gram (bentuk balok), sehingga hampir 75% material dibuang dalam proses pemesian.

Proses *Metal Injection Molding*

Proses *Metal Injection Molding* terdiri atas empat tahapan yaitu *mixing*, *injection molding*, *debinding* dan *sintering* (dapat dilihat pada Gambar 4). Pertama-tama serbuk logam dan binder dicampur dalam sebuah mixer dan kemudian dibuat pellet untuk mempermudah proses injeksi. Kemudian pellet dimasukkan ke dalam hopper mesin *injection molding*, kemudian campuran tersebut dilelehkan dan diinjeksi pada tekanan tertentu sehingga dapat mengisi rongga cetakan (proses *injection molding*). Hasil *injection molding* (dinamakan *green compact*) dihilangkan bindernya secara kimiawi maupun diberikan perlakuan panas (proses *debinding*). Kemudian dilakukan proses sintering untuk memadatkan dan meningkatkan kekuatan dari serbuk logam. Sintering dilakukan pada suhu di bawah temperature lebur dari material. Pada waktu proses sintering terjadi perpindahan atom secara difusi sehingga serbuk akan menyatu dan pori-pori antara serbuk akan mengecil. Setelah proses sintering, produk akan menyusut, sehingga dimensi produk akan berkurang 12-20 % tergantung dari komposisi powder dan

bindernya (Gambar 5). Berat jenis produk setelah sintering 97-99.5% dari berat jenis material. Sifat kimia dan mekanik dari produk MIM dapat dibandingkan dengan material hasil tempa (*wrought material*).

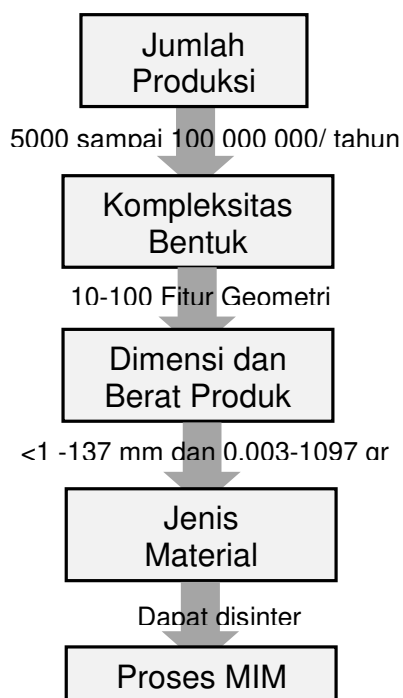
Gambar 4. Tahapan dalam Proses *Metal Injection Molding*.Gambar 5. Penyusutan setelah proses *sintering green compact* (kiri) dan hasil *sintering* (kanan).

Tabel 1 Perbandingan MIM dengan proses near net shape lainnya.

attribute	MIM	powder metallurgy	casting	machining
density	98%	85%	95%–99%	100%
strength	100%	50%	98%	100%
magnetic response	100%	70%	95%	98%
surface finish	0.4–0.8 μm	2 μm	3 μm	0.2–2 μm
wall thickness	10–0.1 mm	2 mm	5 mm	2 mm
complexity	high	low	medium	high
design flexibility	high	medium	medium	low
production rate	high volume	high volume	low volume	low volume
material range	high	medium	medium	medium
nominal mass range	0.003 g–1 kg	0.1 g–10 kg	1 g up	0.1 g up

Kriteria Pemilihan Proses *Metal Injection Molding*

Dalam mempertimbangkan apakah sebuah produk sesuai untuk dibuat dengan proses MIM perlu mempertimbangkan beberapa hal. Pemilihan produk yang sesuai dengan proses MIM berdasarkan empat faktor berikut yaitu jumlah produksi, kompleksitas bentuk produk, dimensi/berat produk dan jenis material, seperti terlihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 6. Diagram Alir Pemilihan Proses MIM.

Aplikasi MIM Proses

Komponen yang diproduksi dengan menggunakan proses MIM menggunakan berbagai jenis material sebagai berikut.

- Biocompatibility (SS, Co-Cr, Ti alloys).
- Ketahanan korosi (SS, Ni alloys, Co-Cr alloys, Ti alloys)
- Konduktifitas Listrik (Cu)
- Electronic Packaging (Fe, Ni, Kovar, Invar)
- Temperatur Tinggi (Superalloy, logam refraktori)
- Magnetik (Fe-Ni, Fe-Si)
- Ketahanan Aus (Cemented Carbide, Co-Cr alloys, tools steel).

Berikut produk-produk yang dibuat dengan proses MIM yang sudah berada di pasaran:

- Otomotif: engine timing component, fuel injector, turbocharger vanes, steering komponen
- Konsumer: jam, engselacamata, frameacamata, engsel telepon selular, komponen sikat gigi elektrik.
- Dental: orthodontic bracket, implant, alat pembersih.
- Komponen elektronik.
- Komponen senjata.
- Medis: alat bedah, implan.
- Aerospace dll.

Gambar 7 menunjukkan beberapa produk yang dibuat dengan proses MIM.



Turbine Disk



Audio Jack Mount



firing initiator for deploying air bag



orthodontic bracket



Variable valve rocker arms



Burner cover

Gambar 7. Beberapa contoh produk yang dibuat menggunakan proses MIM.

METODE

Studi Kasus Pengaruh Komposisi Binder Terhadap Distorsi Pada Produk MIM

Titanium dan paduannya banyak digunakan untuk aplikasi aerospace, medis, dan aplikasi lain karena sifat mereka yang sangat baik seperti kekuatan spesifik yang tinggi, ketahanan panas yang baik dan sifat

ketahanan korosi. Namun aplikasi untuk produk yang memiliki bentuk yang rumit/kompleks terbatas karena kemampuan mesin dan mampu tuang yang rendah dari titanium dan paduan. *Metal Injection Molding* (MIM) telah dikenal sebagai cara yang efektif untuk membuat produk yang memiliki bentuk kompleks dengan biaya produksi yang rendah. Dengan keunggulan ini, proses MIM diharapkan menjadi salah

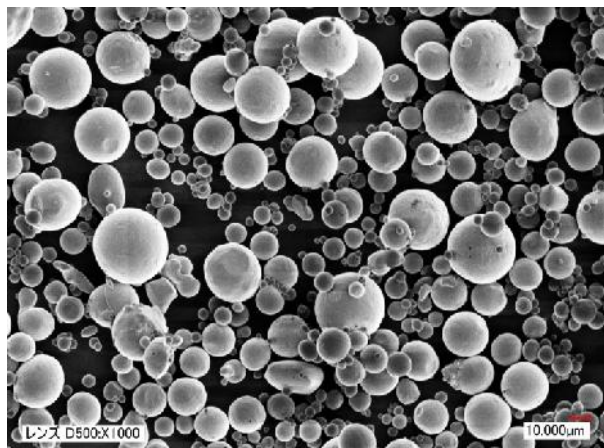
satu proses yang sesuai untuk membuat produk dengan bentuk yang kompleks berbahan paduan titanium.

Salah satu permasalahan yang timbul dalam proses MIM adalah distorsi yang terjadi pada waktu proses debinding maupun sintering. Kandungan binder yang cukup tinggi (sekitar 10 persen berat green compact) menyebabkan proses debinding harus dilakukan dengan khusus sehingga tidak terjadi cacat pada waktu debinding. Sedangkan pada waktu proses sintering terjadi penyusutan yang cukup besar sehingga kemungkinan terjadi distorsi ataupun ketidakseragaman penyusutan yang terjadi dikarenakan pengaruh gravitasi, gaya gesek dengan settler ataupun penopang selama proses sintering berlangsung.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk paduan Ti6Al4V hasil atomisasi gas dari Osaka Titanium Technology Co., Ltd (TILOP64-45) dengan ukuran serbuk <45 μm . Serbuk ini memiliki bentuk yang bulat sebagaimana umumnya serbuk yang dihasilkan dari proses atomisasi dengan menggunakan gas, seperti yang terlihat pada Gambar 8. Hasil pengukuran ukuran partikel dengan menggunakan Laser Diffraction Particle Analyzer menunjukkan ukuran rata-rata dari serbuk tersebut adalah 23.8 μm , dengan distribusi ukuran serbuk adalah D10 14 μm , D50 24 μm , D90 38 μm . . Komposisi kimia dari powder Ti6Al4V dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia serbuk yang digunakan dalam penelitian ini.

Elemen	Ti	Al	V	Fe	O
% Berat	Balance	5.96	4.35	0.045	0.115
Elemen	C	H	N		
% Berat	0.015	0.007	0.004		



Gambar 8. Foto SEM dari powder paduan Ti6Al4V yang digunakan dalam penelitian ini.

Binder yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas paraffin wax (PW), carnauba wax (CW), ethyl vinyl acetate (EVA), dan di-n-butyl phthalate (DBP). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi binder terhadap distorsi. Komposisi binder yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Serbuk dan binder dicampurkan dengan perbandingan 65% vol. serbuk dan 35% vol. binder pada suhu 150 C selama 1 jam dan kemudian dibuat feedstock. Feedstock dimasukkan ke dalam mesin injection molding dan diinjeksi ke dalam cetakan/dies. Gambar 9 menunjukkan hasil proses injection molding.

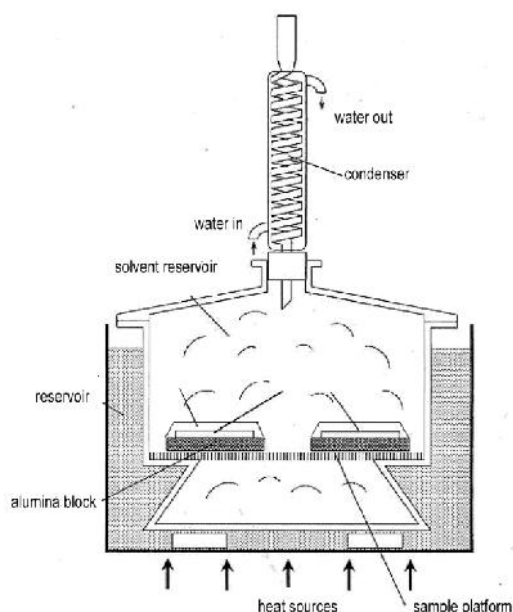
Tabel 3. Komposisi binder yang digunakan dalam penelitian ini.

Binder	Persentase Berat (%)		
	Komposisi 1	Komposisi 2	Komposisi 3
PW	69	65	65
CW	10	10	10
APP	10	15	10
EVA	10	10	15
DBP	1	1	1



Gambar 9. Hasil proses injection molding (green part)

Selanjutnya dilakukan penghilangan binder. Dalam penelitian ini proses penghilangan binder dilakukan dalam dua tahap yaitu dengan menggunakan pelarut (solvent debinding) dan kemudian dilanjutkan dengan pemanasan (thermal debinding) sampai temperature dekomposisi dari binder. Solvent debinding dilakukan pada temperature 56-59 °C selama 4-6 jam dengan pelarut heptane. Skema proses solvent debinding dapat dilihat pada Gambar 10. Kemudian dilakukan penghilangan binder dengan memasukkan sampel ke dalam furnace (thermal debinding). Pemanasan dilakukan sampai suhu 600 °C dimana semua binder akan terdekomposisi.



Gambar 10. Proses Solvent Debinding

Setelah dilakukan proses sintering dengan memanaskan sampel pada suhu 1250 °C ditahan selama 2 jam dalam kondisi vakum. Karena logam titanium mudah teroksidasi maka diperlukan kondisi vakum yang tinggi (<102 Pa).

Setelah dilakukan sintering, sampel diukur distorsinya dengan menggunakan Coordinate Measuring Machine (CMM) type Legex776. Dalam penelitian ini line laser probe digunakan untuk mendapatkan data pengukuran. Titik-titik hasil pengukuran tersebut diubah menjadi bentuk surface/solid untuk kemudian dibandingkan dengan CAD data dan dihitung deviasinya. Pada fitur silinder, roundness dihitung dengan menggunakan metoda least square, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 12.

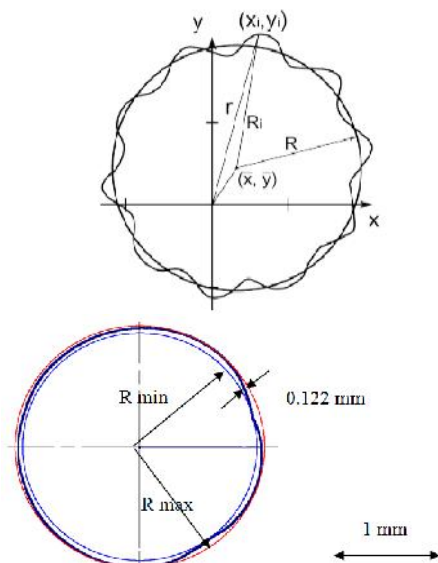
$$E_n = \sum \sqrt{((x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2) - R^2}$$

$$= \sum (R_i - R)^2$$

$$N \bar{x} = \sum x_i - R \sum \frac{x_i - \bar{x}}{R_i}$$

$$N \bar{y} = \sum y_i - R \sum \frac{y_i - \bar{y}}{R_i}$$

$$N R = \sum R_i$$



Gambar 12. Metode least square

Selain itu, hasil pengukuran menggunakan CMM akan dibandingkan dengan 3D CAD data dan dilihat berapa besar penyimpangannya. Gambar 13

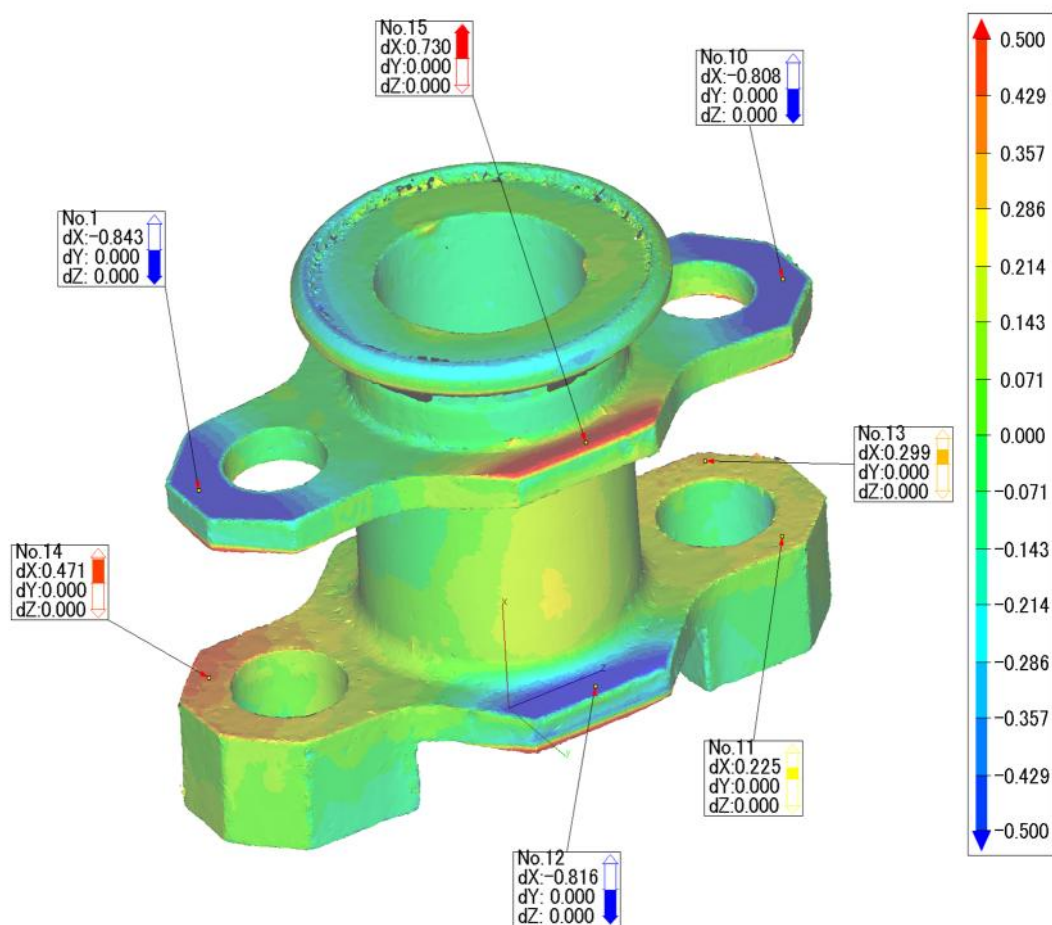
menunjukkan contoh dari 3D image dari sampel hasil sintering. Nilai distorsi ditunjukkan dengan spectrum warna untuk mempermudah visualiasi. Warna merah menunjukkan distorsi positif yaitu searah dengan bidang normal dari permukaan (ke arah luar), sedangkan warna biru menunjukkan distorsi berlawanan dengan bidang normal dari permukaan (ke arah dalam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4 menunjukkan bahwa dari distorsi kebulatan meningkat dengan meningkatnya binder yang memiliki berat molekul yang tinggi (komposisi 2 dan 3) setelah sintering. Penambahan APP dan EVA tidak meningkatkan kekuatan dari sampel selama proses thermal debinding.

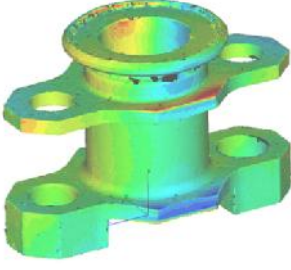
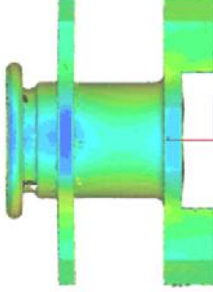
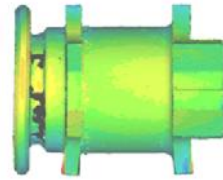
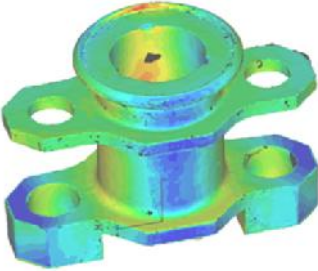
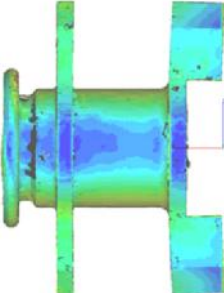
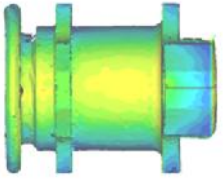
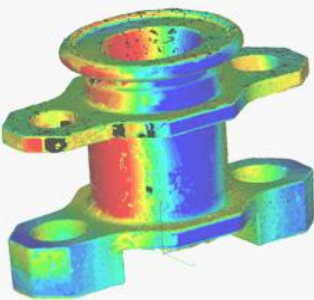
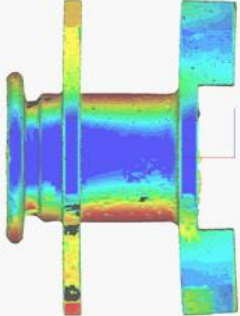
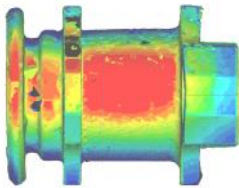
Komposisi 1 dengan 10% APP-10% EVA menunjukkan nilai distorsi terendah.

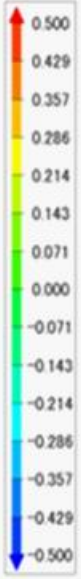
Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan distorsi dengan peningkatan kandungan polimer (dalam hal ini APP dan EVA). Setelah proses solvent debinding pelarut, sebagian besar lilin parafin dilarut dan keluar dari sampel, sementara bahan binder yang lainnya tetap. Selama thermal debinding, komposisi 2 dan 3 memiliki lebih banyak kandungan binder pengikat, oleh karena itu kekuatan kompak berkurang secara signifikan. Dalam proses thermal debinding, polimer melewati fasa cair dan kemudian menguap, sehingga kandungan APP dan EVA yang terlalu banyak tidak optimal menjaga bentuk, mengakibatkan distorsi terjadi. Hasil pengukuran roundness juga menunjukkan kecenderungan yang sama.



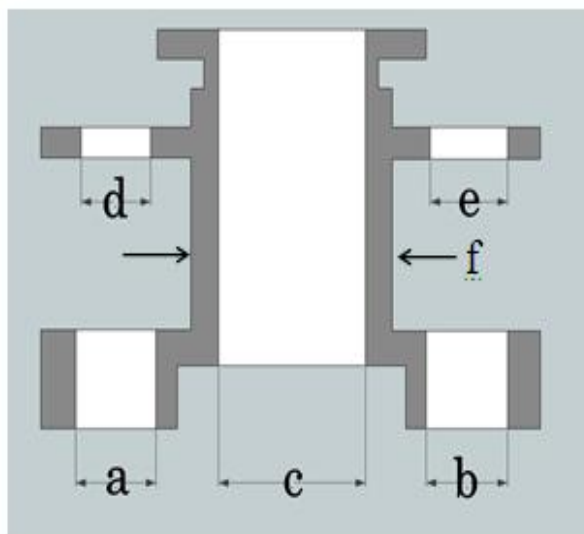
Gambar 13. Contoh hasil pengukuran dengan CMM dari sampel hasil sintering dibandingkan dengan CAD data

Tabel 4. Hasil pengukuran sampel as sintered pada komposisi feedstock yang berbeda

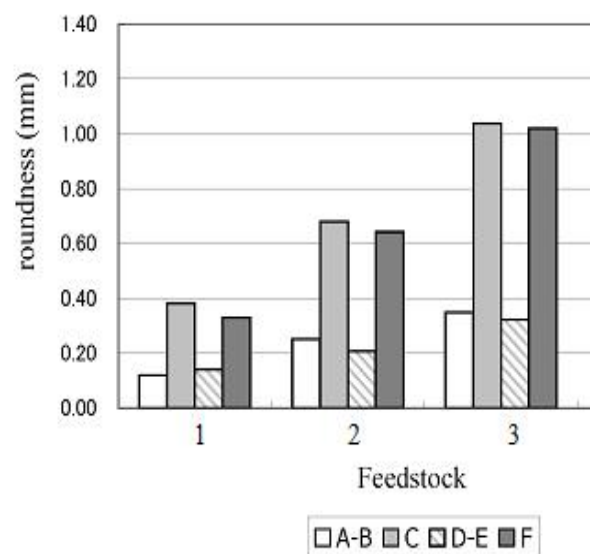
Komposisi Feedstock	Hasil Pengukuran CMM dibandingkan dengan CAD data		
1			
2			
3			



(mm)



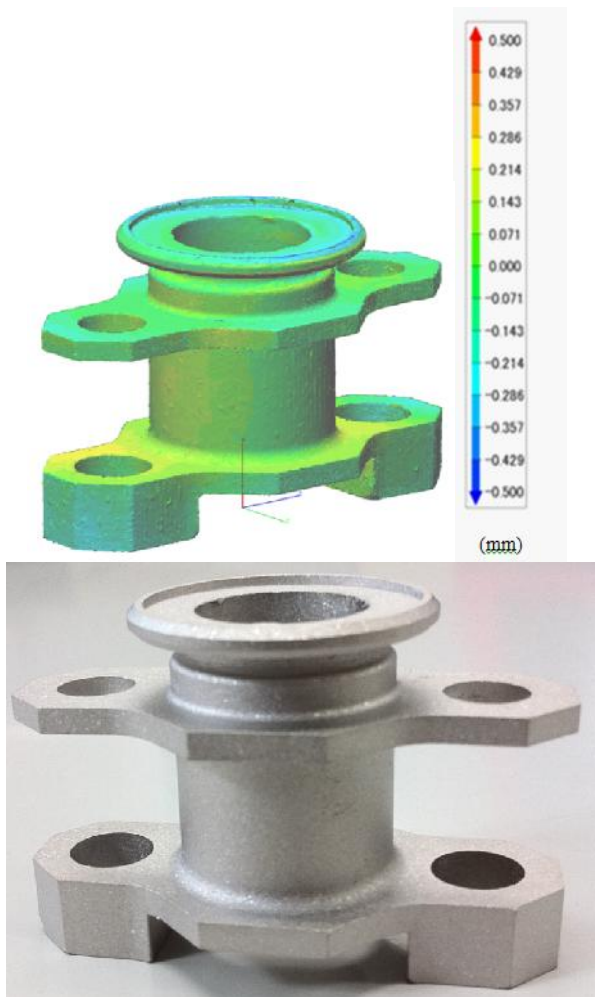
Gambar 14 (a) Fitur yang diukur.



Gambar 14 (b) Nilai roundness.

Optimalisasi Proses Sintering

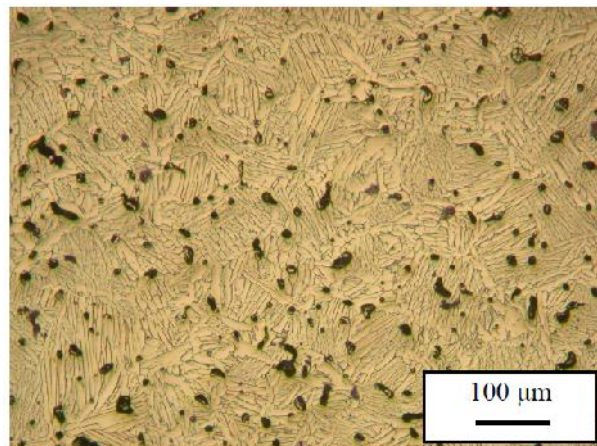
Selain pengaruh komposisi binder maupun perbandingan antara serbuk logam dengan jumlah binder, distorsi juga dipengaruhi posisi penempatan sampel selama proses sintering. Pada waktu sintering terjadi proses penyusutan sehingga umumnya terjadi distorsi pada pada proses tersebut. Pada umumnya pada waktu sintering dibuatkan alat bantu yang menahan distorsi pada bagian-bagian yang lemah sehingga distorsi dapat diminimalisir. Alat bantu ini dibuat dari bahan keramik yang dibentuk tergantung fitur dari produk yang akan dibuat. Gambar 15 menunjukkan hasil pengukuran untuk produk yang diberikan alat bantu, dapat terlihat bahwa distorsinya berkurang.



Gambar 15. Produk MIM dengan alat bantu pada proses sintering a) hasil pengukuran, b) produk akhir

Struktur Mikro dan Kadar Pengotor pada Produk Sinter

Karena kondisi sintering dan perbandingan jumlah logam dan binder sama untuk ketiga jenis feedstock, maka densitas relatif yang dihasilkan relative sama yaitu 95-96% (Pengujian Archimedes). Gambar 16 menunjukkan struktur mikro dari produk sinter yaitu fasa alpha dan beta lamelar. Kandungan oksigen rata-rata adalah 0,278% massa setelah sintering, yang lebih tinggi dibandingkan dengan serbuk awal (0,115% massa). Namun, ini tingkat kandungan oksigen tidak mempengaruhi sifat mekanik. Kandungan karbon rata-rata adalah 0,065%, yang lebih rendah dari karbon maksimum yang diizinkan untuk ASTM B265 Grade 5 (0,1% C max).



Gambar 16. Struktur mikro produk sinter paduan Ti6Al4V.

KESIMPULAN

Metal Injection Molding (MIM) merupakan proses manufaktur dari komponen presisi yang memiliki bentuk yang kompleks/rumit dengan biaya rendah dan pengerjaan akhir (*finishing*) yang minimal. Proses ini dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material termasuk material yang baik itu logam maupun keramik seperti superalloy, baja tahan karat, titanium, karbida, zirconia dan lain-lain. Pembuatan komponen menggunakan proses MIM dapat mengurangi secara signifikan biaya manufaktur, peningkatan fleksibilitas desain dan material, memiliki sifat mekanis yang tinggi, permukaan akhir yang baik dan

jumlah produksi yang tinggi. Studi kasus menunjukkan contoh pembuatan produk Ti6Al4V dengan MIM proses, yang sebelumnya dikerjakan dengan proses pemesian. Dari hasil penelitian diperoleh kondisi distorsi yang paling kecil dengan menggunakan sistem binder yang memiliki komposisi yaitu APP 10%, EVA 10%, PW 69%. Selain itu penggunaan alat bantu selama proses sintering juga terbukti mengurangi distorsi dari produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Professor Hideshi Miura, Associate Prof. Tsumori Fujio, Dr. Toshiko Osada from Kyushu University atas bimbingannya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Froes, F.H.S. 2007. Advance in Titanium *Metal Injection Molding*. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 46(5).118-125.

- German, R.M., 2003. Powder Injection Molding, Design and Application. Innovative Materials Solutions, State College, PA, USA.
- German, R.M. 1997. Injection Molding of Metals and Ceramics, Metal Powder Industries Federation.
- German, R.M. 2011. *Metal Injection Molding*, A Comprehensive MIM Design Guide. Metal Powder Industries Federation. Princeton, New Jersey, USA.
- Heaney, D.F. 2012. Handbook of *Metal Injection Molding*. Woodhead Publishing.
- Shibo et.al. 2006. Powder injection molding of Ti6Al4V alloy. Journal of Materials Processing Technology.173(3).310-314.
- Ito, Y. et.al. 2009. Effect of oxygen content and relative density on the tensile properties of injection molded Ti-6Al-4V alloy. J. Jpn. Soc. of Powder Powder Metallurgy. 56. 259-263.